

**INFORME DE INSPECCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN EN LA
PARTE BAJA DEL RÍO DUWAMISH (DESDE KILÓMETRO 2,5
HASTA 11,5), SEATTLE, WASHINGTON**

Preparado para la
U.S. Environmental Protection Agency
(Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos),
Región 10
1200 6th Avenue
Seattle, Washington 98101

abril de 1999

Preparado por la
Roy F. Weston, Inc.
700 5th Avenue, Suite 5700
Seattle, Washington 98104-5057

TABLA DE CONTENIDO

página

| | | |
|-------------------|--|----|
| Sección 1. | Introducción | 4 |
| Sección 2. | Descripción de la zona de la inspección | 5 |
| 2.1 | LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE INSPECCIÓN | 5 |
| 2.2 | OPERACIONES INDUSTRIALES E INVESTIGACIONES ANTERIORES | 6 |
| 2.3 | GEOLOGÍA DE LA REGIÓN | 6 |
| 2.4 | DINÁMICA DEL CANAL | 7 |
| 2.5 | RECURSOS ACUÁTICOS VIVOS Y HÁBITATS CRÍTICOS | 7 |
| 2.6 | POSIBLES TRAYECTORIAS Y RECEPTORES DE LOS CONTAMINANTES | 8 |
| 2.6.1 | Sedimentos | 8 |
| 2.6.2 | Agua de superficie | 9 |
| 2.6.3 | Suelo | 9 |
| 2.6.4 | Agua subterránea | 9 |
| 2.6.5 | Aire | 9 |
| Sección 3. | Descripción del método | 10 |
| 3.1 | OBJETIVOS DEL MUESTREO | 10 |
| 3.2 | TIPO DE MUESTRAS, NÚMERO DE ESTACIONES DE MUESTREO Y JUSTIFICACIÓN | 10 |
| 3.2.1 | Superficie (300 estaciones) | 10 |
| 3.2.2 | Bajo la superficie (17 estaciones) | 10 |
| 3.2.3 | Agua de los poros (15 estaciones) | 11 |
| 3.3 | MÉTODOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS Y UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES | 11 |
| 3.3.1 | Métodos de muestreo | 12 |
| 3.3.2 | Métodos de análisis | 12 |
| 3.3.3 | Ubicación de las estaciones | 12 |
| 3.4 | MANIPULACIÓN, ENVASADO Y ENVÍO DE LAS MUESTRAS | 13 |
| 3.5 | DOCUMENTACIÓN | 13 |
| 3.6 | DESCONTAMINACIÓN DEL EQUIPO Y ELIMINACIÓN DE LOS DESPERDICIOS GENERADOS POR LA INVESTIGACIÓN | 13 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Sección 4. | Resultados del análisis de las muestras | 14 |
| 4.1 | PRESENTACIÓN DE LOS DATOS | |
| 4.2 | MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS DATOS | 14 |
| 4.2.1 | Comparación con los niveles de referencia, basados en los efectos de los diversos contaminantes | 14 |
| 4.2.2 | Otras evaluaciones de los datos relativos al tributilestaño | 14 |
| 4.3 | RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS | 16 |
| 4.3.1 | Sedimentos superficiales | 16 |
| 4.3.2 | Sedimentos bajo la superficie | 19 |
| 4.3.3. | Agua de los poros de los sedimentos | 21 |
| Sección 5. | Bibliografía | 22 |

SECCIÓN 1

INTRODUCCIÓN

Conforme al Contrato N° 68-W9-0046 de la Agencia de los Estados Unidos para la Protección del Medio Ambiente (*U.S. Environmental Protection Agency, EPA*), titulado “Inspecciones Múltiples de Lugares Contaminados” (*Multiple Site Inspections*) y los Añadidos de 1994a y 1998a al Plan de Trabajo, la empresa Weston ha efectuado una inspección de los sedimentos del curso bajo del río Duwamish, del kilómetro 2,5 de la margen al 11,5.

En estas investigaciones de la EPA se evalúan los peligros medioambientales efectivos o posibles de un sitio específico, en comparación con los de otros sitios de diversas partes del país, con el fin de averiguar la urgencia de las medidas correctivas que sean recomendables. Estas inspecciones, que se efectúan conforme a la Ley Integral de Defensa, Indemnización y Responsabilidad Ambientales de 1980 (*Comprehensive Environmental Response, Compensation and Liability Act, CERCLA*) y la Ley de Enmienda y Reautorización del Fondo para la Limpieza de Vertidos Tóxicos de 1986 (*Superfund Amendments and Reauthorization Act, SARA*), se proponen reunir datos suficientes para averiguar si el lugar en cuestión pudiera incluirse en la Lista Nacional de Prioridades (*National Priorities List, NPL*) y determinar la prioridad de otras medidas, si están justificadas.

Esta labor de recopilar datos de la porción baja del Duwamish también complementará otras labores que intentan mejorar los usos beneficiosos del ambiente que llevan a cabo diversos organismos y partes interesadas, dirigidas a restablecer y mejorar los hábitats acuáticos de ese río.

Este documento consiste en un resumen de los objetivos, muestreo y resultados de la inspección del río Duwamish. En la sección 2 figura la descripción del sitio de la inspección; en la sección 3, la de la labor de inspección; en la sección 4, la del muestreo y de los resultados de los análisis; la sección 5 consiste en la bibliografía.

SECCIÓN 2

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE LA INSPECCIÓN

2.1 ZONA DE LA INSPECCIÓN EN GENERAL

El río Duwamish se origina en la confluencia de los ríos Green y Black, cerca de Tukwila, Washington, desde donde corre hacia el noroeste por unos 21 kilómetros hasta que se bifurca al llegar al extremo sur de la isla de Harbor, donde forma los canales Este y Oeste, que desembocan en la bahía de Elliott. La zona de estudio de esta inspección va desde el extremo sur de la isla de Harbor (kilómetro 2,5) hasta aproximadamente 1,5 km aguas arriba de la cabecera de navegación (kilómetro 11,5), la ensenada superior de giro (Ensenada de Giro N° 3, *Turning Basin No. 3*). La parte del río que se encarga de cuidar el Cuerpo de Ingenieros del Ejército (*U.S. Army Corps of Engineers*), por tratarse de un canal de navegación federal (o sea, la parte recta situada aguas abajo de la Ensenada de Giro N° 3) se llama el Canal Navegable del Duwamish (*Duwamish Waterway*). En ese canal, el Cuerpo de Ingenieros mantiene una profundidad de navegación que oscila entre 15 y 30 pies (de 4,5 a 9 metros, aproximadamente) por debajo de la marea baja secundaria media^a (Weston, 1994b).

En la mayor parte de las márgenes del Canal Navegable del Duwamish se han hecho edificaciones con fines industriales y comerciales, ya que ese canal es una ruta muy importante para el envío de carga en contenedores y a granel. A lo largo de la orilla son comunes los muros de los muelles, junto con otras construcciones como embarcaderos, muelles cubiertos, edificios que se adentran sobre el agua, y taludes muy pronunciados protegidos por escolleras o material de relleno (eso es, láminas de hormigón o concreto y diversos desechos). Los hábitats intermareales están dispersos en pequeñas parcelas que por lo general tienen menos de un acre (0,4 de hectárea) de superficie, a excepción de la isla de Kellogg, que es la mayor extensión de hábitat intermareal que queda en el Duwamish (Tanner, 1991).

El sistema de los ríos Duwamish y Green desagua un área de aproximadamente 1250 kilómetros cuadrados (483 millas cuadradas); la corriente es máxima durante las lluvias del invierno y mínima durante la época seca de fines del verano (Weston, 1994b). La magnitud de la corriente de casi todo el Duwamish está regulada por la represa Howard-Hanson, situada aguas arriba de la confluencia de los ríos Green y Black. El Cuerpo de Ingenieros limita la descarga máxima a 340 metros cúbicos (12.000 pies cúbicos) por segundo en Tukwila; la corriente mínima puede ser de tan solo 5,5 metros cúbicos (200 pies cúbicos) por segundo; la media está entre 42 y 51 metros cúbicos (de 1500 a 1800 pies cúbicos).

Los efectos de las mareas se notan por todo el tramo del Duwamish, y dan como resultado la estratificación del agua del río característica de los estuarios, en la cual la superficie suele ser de agua dulce o salobre pero el fondo es más salino. Esta capa del fondo (la “cuña de sal”) oscila

* Por marea baja secundaria media (en inglés, *mean lower low tide*, MLLT) se entiende el promedio de las más bajas de las dos bajamares que ocurren cada día mareal.

según la corriente del río y el ciclo de las mareas, pero tiende a ser más persistente cuando es baja la corriente y alta la magnitud de la marea; se observa hasta a 16 km aguas arriba (Weston, 1994b).

La composición del sedimento del fondo es variable en toda la zona estudiada. Los datos de mediciones anteriores de los sedimentos superficiales señalan la presencia de partículas más gruesas (eso es, de arenas medianas y gruesas) en las zonas próximas a las orillas y adyacentes a los desagües combinados del rebose del alcantarillado y el agua de lluvia, o a los taludes protegidos por escolleras o materiales parecidos; también se presentan en las zonas submareales (de arrastre) en la proximidad de los puentes que cruzan el río (por ejemplo, los puentes de la 1ª Avenida Sur y de la 16ª Avenida Sur). Los sedimentos finos (eso es, de limo o cieno y de arcilla) se suelen encontrar en las marismas o lodazales que aún quedan, en los taludes laterales del canal y en ciertas partes del cauce de navegación.

2.2 OPERACIONES INDUSTRIALES E INVESTIGACIONES ANTERIORES

La mayor parte de la tierra alta adyacente al lugar del estudio está muy industrializada; el tránsito marítimo en el Canal Navegable del Duwamish se considera intenso. Entre las operaciones actuales o anteriores que ocurrían u ocurren en el río se cuentan la manipulación y el almacenamiento de carga; la construcción de barcos y botes; el mantenimiento y la reparación; el amarre de embarcaciones de recreo; la fabricación y distribución de hormigón y otros materiales de piedra; la fabricación de papel y metales; la elaboración de alimentos, y la fabricación de piezas de aviación. Además, a este tramo del río descargan numerosos colectores municipales de aguas de lluvia y reboses del alcantarillado, así como muchos conductos de descarga y desagües de propiedad particular.

Se han efectuado numerosas investigaciones del Canal Navegable del Duwamish, de muy diverso alcance. Algunos estudios se centraban en determinadas características; otros procuraban estudiar el río en su totalidad, y el muestreo de los sedimentos era sólo uno de sus muchos aspectos. Estos estudios anteriores han señalado la presencia en el río, en cantidades suficientes para tener efectos perjudiciales sobre la salud de personas y organismos acuáticos, de bifenilos policlorados (PCB), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH), metales (mercurio, por ejemplo), diversos compuestos orgánicos (como ésteres de ftalatos y bencenos clorados), plaguicidas y compuestos orgánicos del estaño. Los contaminantes más extendidos de posible riesgo son los bifenilos policlorados y el éster bis(2-etilhexílico) del ácido ftálico, seguidos por los metales (principalmente, mercurio y zinc) y los hidrocarburos aromáticos policíclicos. Estos contaminantes pueden haber llegado al río por diversas vías o mecanismos, por ejemplo, los derrames durante la manipulación y el envío de mercancías, los vertidos directos, los vertidos de aguas subterráneas contaminadas; la escorrentía de aguas de la superficie; los desagües del agua de lluvia, o la erosión de suelos contaminados.

2.3 GEOLOGÍA DE LA REGIÓN

La geología de la región de Seattle está muy influenciada por los movimientos tectónicos recientes y las glaciaciones del cuaternario. Los materiales desplazados y sin consolidar de origen glaciario y los depósitos no glaciares cubren la roca firme del terciario, bastante deformada estructuralmente, la cual comprende areniscas marinas y de estuario, pizarra y aglomerado,

además de basalto, andesita y rocas volcánicas. Se reconocen por lo menos cinco series de material desplazado, cada una de ellas causada por una glaciación y separadas entre sí por sedimentos no glaciares. El último glaciar retrocedió de la zona de Seattle hace unos 13.500 años. Cada glaciación se caracteriza porque repite una misma serie compleja de acontecimientos: depósitos lacustres, acarreo fluvio-glaciares de avanzada (sedimentos de arena acarreados por los arroyos del agua de fondo o deshielo del glaciar que avanza), desplazamientos glaciomarineros, arcillas glaciáricas, y acarreo fluvio-glaciares de retroceso. Estos depósitos se conservan sólo en ciertos lugares aislados, a causa de la erosión y la sedimentación ocurridas en los intervalos sucesivos, tanto glaciares como no glaciares. Los intervalos no glaciares suelen estar representados por depósitos aluviales (Galster y Laprade, 1991).

La estratigrafía posglacial sobrepuesta ocupa los canales residuales del agua de fondo subglaciar cortados en los acarreo fluvio-glaciares de avanzada y en depósitos aún más antiguos, durante la recesión del lóbulo (lengua del casquete glaciar) de Puget. Esa estratigrafía consiste en series progradantes (acumulaciones de sedimentos del litoral en progresión frontal) délticas, interpenetradas por depósitos de embahamiento marino. El valle del Duwamish forma una vaguada residual y antiguo embahamiento marino posglacial, que han sido rellenados de sedimentos en los últimos pocos miles de años por el delta ancestral progradante del Duwamish (Dragovich, 1994).

2.4 DINÁMICA DEL CANAL

La topografía original del curso bajo del Duwamish ha sido modificada deliberadamente. Antes del acondicionamiento del valle del Duwamish, la superficie consistía en llanuras aluviales bajas y planicies mareales; antes de 1918, el río describía numerosos meandros, de los que únicamente quedan de muestra los varaderos naturales que cortan la ribera a intervalos. Entre 1910 y 1920, se canalizó el curso bajo del río para formar el Canal Navegable del Duwamish. El antiguo cauce del río y las llanuras aluviales adyacentes se llenaron y nivelaron para formar la topografía actual.

2.5 RECURSOS ACUÁTICOS VIVOS Y HÁBITATS CRÍTICOS

Para varias especies de salmones del Pacífico, el río Duwamish sirve de ruta migratoria, vivero y zona de transición osmorregulatoria (fenómeno fisiológico de regulación de la presión osmótica intracelular en vista de la presión osmótica extracelular, propio del paso del agua salada a la dulce o viceversa). Entre estas especies se encuentran el salmón plateado (coho, *Oncorhynchus kisutch*), el salmón real (chinook, *O. tshawytscha*), el salmón keta (chum, *O. keta*) y el salmón rosado (pink, *O. gorbuscha*), así como la trucha arco iris (steelhead, *O. mykiss*) y la trucha de las Rocosas (cutthroat trout, *O. clarki*) (Weston, 1998b). Los salmones plateados y reales usan la bahía de Elliott y el estuario del Duwamish con más frecuencia que las otras especies (Weston, 1998b). Participan en las migraciones del salmón tanto ejemplares nativos como los del programa estatal de cría situado en el río Green. Como parte de un esfuerzo continuo para proteger las poblaciones en decadencia de las especies de salmón del Pacífico, el salmón real (chinook) del estrecho de Puget se ha incorporado recientemente a la lista de especies en peligro, conforme a la Ley de Especies Amenazadas.

El Duwamish forma parte de las pesquerías tradicionales de las tribus indígenas de los Muckleshoot y Suquamish. Durante las migraciones estacionales, estas tribus emplean la pesca de enmalle para la captura de salmones de diversas especies (por ejemplo, el real y el plateado). Las poblaciones de estos salmones también sufren el acoso de la pesca recreativa, que es popular en varios puntos del curso bajo a los que tiene acceso el público.

El estuario del bajo Duwamish lo habitan numerosas especies de aves. Durante la mayor parte del año se observan especies migratorias y residentes: costeras, acuáticas y marinas, así como canoras y rapaces. Entre las aves piscívoras observadas en el estuario bajo se encuentran el martín pescador (alción, *Megaceryle alcyon*) y la garza azul mayor (*Ardea herodias*). Diversas rapaces también frecuentan o habitan las riberas del Duwamish, entre ellas, halcones, águilas calvas (o de cabeza blanca, *Haliaëtus leucocephalus*) y águilas pescadoras (*Pandion haliaëtus*) (Weston, 1994b). Durante el reconocimiento efectuado para la inspección encargada por la EPA, así como en el muestreo de campo, se encontró un nido en uso de águilas pescadoras en los terrenos de la empresa siderúrgica Birmingham Steel. No es raro hallar nidos de águilas calvas en los parques o terrenos sin aprovechar de la parte oeste de Seattle. Aunque no está completamente documentado cómo utiliza ese hábitat cada una de estas especies, no hay duda de que el estuario del Duwamish sirve a las aves adultas y a las jóvenes, por lo menos, para procurarse alimentos.

En las riberas del Duwamish también se han observado diversos mamíferos, entre ellos, la nutria y la rata almizclera. A menudo se alimentan en la bahía de Elliott algunos mamíferos marinos, entre ellos, las focas comunes (*Phoca vitulina*) y los otarios (leones marinos) de California (*Zalophus californianus*); esas dos especies se han visto a veces también en el Canal Navegable del Duwamish (Weston, 1994b). El Departamento de Pesca y Fauna (*Department of Fish and Wildlife*) de Washington considera que la foca común y el otario de California son especies testigo de la salud ambiental del estado (Weston, 1998b).

2.6 POSIBLES TRAYECTORIAS Y RECEPTORES DE LOS CONTAMINANTES

2.6.1 Sedimentos

Los sedimentos donde se depositan directamente los materiales de desecho, o a los cuales llegan aguas contaminadas subterráneas o de superficie, por su capacidad de retención de contaminantes, sirven de receptores primero y luego de fuentes de contaminación. Además, esos sedimentos pueden afectar a zonas lejanas adonde las mareas, las corrientes y las olas transporten los contaminantes. Los organismos acuáticos son también receptores a los que pueden afectar los contaminantes adheridos a los sedimentos, por la respiración, la ingestión directa o el contacto con la piel. Los organismos que ocupan los niveles inferiores de la cadena alimentaria (el orden trófico), cuando están contaminados, son otra vía por la cual la contaminación llega a los organismos superiores que los ingieren. El potencial de los sedimentos para actuar de receptores y fuentes de contaminación se evaluó mediante la recogida y el análisis químico de sedimentos superficiales y subsuperficiales, y del agua de los poros de los sedimentos, en diversas ubicaciones de los nueve kilómetros bajo estudio.

2.6.2 Aguas de superficie

Las aguas de la superficie del Duwamish son el receptor principal de las aguas de superficie de tierra. Los receptores ecológicos primarios y secundarios de este hábitat acuático son las poblaciones anádromas y residentes de peces, y numerosas aves piscívoras, aves acuáticas de paso, aves rapaces y mamíferos. Como ya se ha mencionado, además de la deposición directa, el transporte de contaminantes a las aguas de la superficie del Duwamish ocurre también por escorrentía del agua de lluvia, descarga directa de desagües y reboses del alcantarillado, acción de la marea o afluencia del agua subterránea. Sin embargo, la calidad del agua no se ha evaluado directamente en este estudio.

2.6.3 Suelo

Aunque el suelo puede ser fuente de contaminantes o mecanismo de exposición para los receptores terrestres, las condiciones del suelo de las zonas elevadas adyacentes no se ha evaluado en este estudio. Sin embargo, como parte del estudio de la trayectoria por los sedimentos y por medio de la recogida de muestras superficiales y bajo la superficie cerca de las márgenes, se ha evaluado el suelo posiblemente erosionado y transportado a los sedimentos próximos a la ribera por la acción del agua de lluvia.

2.6.4 Aguas subterráneas

En esta investigación no se ha evaluado la trayectoria de los contaminantes por las aguas subterráneas, pero es lo más probable que el estudio de la trayectoria por los sedimentos haya captado las zonas donde la contaminación importante de las aguas subterráneas pueda haber afectado a la calidad de los sedimentos.

2.6.5 Aire

En esta investigación no se ha evaluado la trayectoria de los contaminantes por el aire, pero es lo más probable que el estudio de la trayectoria por los sedimentos haya captado el efecto que tenga sobre las zonas fluviales la llegada de cantidades importantes de materia particulada (granulosa), procedentes de los terrenos elevados adyacentes al Duwamish.

SECCIÓN 3

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

3.1 OBJETIVOS DEL MUESTREO

En estas investigaciones de la EPA se evalúan los peligros ambientales efectivos o posibles de un sitio específico, en comparación con los de otros sitios de diversas partes del país, con el fin de averiguar la urgencia de las medidas correctivas recomendables. Estas investigaciones han tenido el fin de reunir datos suficientes para poder llegar a una evaluación ambiental de una sección de nueve kilómetros del río Duwamish, y contribuir a otras labores ambientales que en la actualidad efectúan diversos organismos y partes interesadas.

Esta investigación ha tenido el propósito de efectuar una evaluación preliminar de la calidad de los sedimentos del río Duwamish. Para ello se fijaron los siguientes objetivos del muestreo:

- Caracterizar la índole y extensión de la distribución de la contaminación en los sedimentos superficiales (primeros 10 centímetros).
- Caracterizar de forma preliminar la índole y profundidad de la distribución de la contaminación en los sedimentos bajo la superficie (hasta 1,21 metros por debajo de la línea del lodo) en ciertos puntos.
- Obtener muestras del agua de los poros de los sedimentos, para evaluar la posible disponibilidad biológica de los compuestos orgánicos del estaño y de los metales para su absorción por organismos acuáticos.

3.2 TIPO DE MUESTRAS, NÚMERO DE ESTACIONES DE MUESTREO Y JUSTIFICACIÓN

Las muestras analizadas se tomaron de un total de 300 estaciones. A continuación, se desglosan las estaciones y las muestras recogidas para cada entorno.

3.2.1 Superficie (300 estaciones)

- 312 muestras de los sedimentos superficiales
- 300 muestras primarias de los sedimentos superficiales (de 0 a 10 cm)
- 12 muestras repetidas de los sedimentos superficiales (de 0 a 10 cm)

3.2.2 Bajo la superficie (17 estaciones, con las mismas ubicaciones que ciertas de las usadas para el muestreo de los sedimentos superficiales)

- 35 muestras de los sedimentos bajo la superficie
- 17 muestras primarias de los sedimentos bajo la superficie (de 0 a 0,6 m)

- 1 muestra repetida de los sedimentos bajo la superficie (de 0 a 0,6 m)
- 16 muestras primarias de los sedimentos bajo la superficie (de 0,6 a 1,2 m)
- 1 muestra repetida de los sedimentos bajo la superficie (de 0,6 a 1,2 m).

3.2.3 Agua de los poros (15 estaciones, con las mismas ubicaciones que ciertas de las usadas para el muestreo de los sedimentos superficiales)

- 16 muestras del agua de los poros de los sedimentos superficiales
- 15 muestras primarias del agua de los poros de los sedimentos superficiales (0 a 10 cm)
- 1 muestra repetida del agua de los poros de los sedimentos superficiales (0 a 10 cm)

3.3 MÉTODOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS Y UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES

3.3.1 Métodos de muestreo

3.3.1.1 Muestreo de los sedimentos superficiales

Se recogieron sedimentos de las superficies situadas bajo el nivel de las mareas por medio de un tomamuestras excavador modificado de van Veen, de 0,1 m² de superficie, hecho de acero inoxidable, conforme a los procedimientos indicados en el plan de muestreo y análisis (SAP; Weston, 1998a). Hicieron falta hasta once mordiscos en cada estación para reunir volúmenes suficientes de sedimentos para los análisis químicos globales de cada muestra de sólidos y del agua de los poros. La profundidad de los mordiscos aceptables varió entre 5 y 17 cm, según el tipo de sedimento.

Las observaciones sobre la composición de cada muestra del sedimento se anotaron en los formularios correspondientes. Las muestras se colocaron en un recipiente de acero inoxidable, donde se homogeneizaron; una vez homogéneas, se colocaron en recipientes limpios de muestreo (o, en el caso de las muestras del agua de los poros, en recipientes descontaminados de polietileno de alta densidad). Para enviarlos, los recipientes se metieron en neveras portátiles, donde fueron cubiertos con hielo.

3.3.1.2 Muestreo de los sedimentos bajo la superficie

Las muestras de los sedimentos bajo la superficie se recogieron conforme a los procedimientos indicados en el plan de muestreo y análisis (SAP; Weston, 1998a), desviándose solamente en lo que respecta al tamaño del extractor de núcleos (testigos) por gravedad. En vista de la experiencia en la extracción de núcleos en el Duwamish, pareció recomendable el uso de un extractor de núcleos de 10,2 cm, provisto de un barril de extracción de acero inoxidable de 1,52

m y 317 kg de peso (Eaton, 1998). Las longitudes de los núcleos recuperados variaron entre los 0,7 y 1,4 metros, según el tipo de sedimento; el promedio fue de 1,3 m.

Los núcleos extraídos se trataron en la embarcación de muestreo. El sedimento de cada núcleo se expulsó por extrusión, elevando el tubo en un cierto ángulo, a una bandeja descontaminada de acero inoxidable de 1,5 m. En los casos necesarios, el núcleo se golpeó suavemente con un mazo de caucho para desprenderlo del barril. Se tomaron precauciones para que la extrusión ocurriera lentamente, para conservar la integridad del núcleo. Una vez que éste se encontraba en la bandeja, se estudió la composición del sedimento, de la que se tomó nota en los formularios correspondientes. Se colocaron muestras en recipientes de acero inoxidable para su homogeneización; las muestras homogéneas se colocaron en recipientes limpios de muestreo; para enviarlos, éstos se metieron en neveras portátiles, donde fueron cubiertos por hielo.

3.3.2 Métodos de análisis

Por lo general, todas las muestras se analizaron según los métodos y procedimientos del plan de muestreo y análisis (Weston, 1998a), con las siguientes variaciones de poca importancia:

- En las estaciones DR013, DR109, DR139, DR190 y DR228 se omitieron por descuido los análisis de compuestos orgánicos del estaño.
- Diversas circunstancias físicas, principalmente la presencia de obstrucciones (por ejemplo, líneas eléctricas elevadas, cabos de amarre, embarcaciones amarradas, aguas someras y sustratos impenetrables de grava [guijos, rocalla], grandes piedras y desechos de madera) impidieron la recogida de muestras de los sedimentos superficiales y bajo la superficie en varios de los puntos previstos. En consecuencia, se suprimieron varias estaciones del muestreo, y se sustituyeron por otras donde se tomaron las muestras, previa evaluación del lugar, cuando las circunstancias lo permitían. También se modificaron, en los casos necesarios, los análisis de los sedimentos bajo la superficie para que armonizaran con los de las muestras superficiales obtenidas en los mismos puntos.

3.3.3 Ubicación de las estaciones

3.3.3.1 Estaciones de muestreo de los sedimentos superficiales

Se hizo todo lo posible por recoger los sedimentos superficiales en las ubicaciones de muestreo señaladas en el plan de muestreo y análisis, o muy cerca de ellas. Sin embargo, como se indica en la sección 3.3.2, hubo que trasladar varias estaciones de muestreo por la presencia de obstáculos físicos o por las malas condiciones del sustrato. En estos casos se intentó extraer la muestra varias veces antes de que se descartara el lugar. Algunas veces se encontró y muestreo otro lugar en sustitución de la estación descartada.

3.3.3.2 Estaciones de muestreo de sedimentos bajo la superficie

Se hicieron grandes esfuerzos para que las muestras bajo la superficie de los sedimentos se tomaran a no más de tres metros de distancia del lugar donde se habían tomado las muestras superficiales. Sin embargo, esto no fue posible en varios casos por las condiciones de los

sedimentos bajo la superficie. Cuando resultó imposible recoger una muestra adecuada después de numerosos intentos, se abandonó esa estación o se trasladó a un punto más favorable donde ya se habían tomado muestras superficiales.

3.4 MANIPULACIÓN, ENVASADO Y ENVÍO DE LAS MUESTRAS

Las muestras se manipularon, envasaron y enviaron conforme a los procedimientos del plan de muestreo y análisis (Weston, 1998a).

3.5 DOCUMENTACIÓN

La preparación de constancias sobre el terreno, la numeración y el etiquetado de las muestras, y los procedimientos de vigilancia permanente de las muestras se ajustaron a lo estipulado en el plan de muestreo y análisis (Weston, 1998a).

3.6 DESCONTAMINACIÓN DEL EQUIPO Y ELIMINACIÓN DE LOS DESPERDICIOS GENERADOS POR LA INVESTIGACIÓN

Durante la labor sobre el terreno se siguieron los procedimientos estipulados en el plan de muestreo y análisis (Weston, 1998a) para la descontaminación del equipo y la eliminación de los desperdicios generados por la investigación.

SECCIÓN 4

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

4.1 PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

En este informe, los datos analíticos obtenidos se expresan en los términos siguientes:

- La concentración de compuestos inorgánicos en los sedimentos, en miligramos por kilogramo (mg/kg) de peso en seco.
- La concentración de compuestos orgánicos en los sedimentos, en microgramos por kilogramo ($\mu\text{g}/\text{kg}$) de peso en seco. Las concentraciones de compuestos orgánicos covalentes (no polares o no iónicos) se expresan también en microgramos por kilogramo ($\mu\text{g}/\text{kg}$) de carbono orgánico; eso es, la concentración del peso en seco de los compuestos covalentes se normaliza al contenido de carbono orgánico de la muestra, y para ello se divide dicha concentración por la fracción decimal del carbono orgánico de cada muestra.
- La concentración de compuestos inorgánicos y de compuestos orgánicos del estaño en el agua de los poros del sedimento, en microgramos por litro ($\mu\text{g}/\text{L}$).
- La concentración de compuestos orgánicos del estaño en los sedimentos en $\mu\text{g-ion}/\text{kg}$ de peso en seco y en $\mu\text{g-ion}/\text{kg}$ de carbono orgánico.
- El contenido de carbono orgánico total (COT) y las diferentes fracciones del sedimento, separadas según el tamaño de las partículas o gránulos, en porcentajes.

4.2 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS DATOS

4.2.1 Comparación con los niveles de referencia, basados en los efectos de los diversos contaminantes (niveles por encima de los cuales los contaminantes tienen efectos nocivos)

En la sección sobre los resultados de los análisis se indica la media y la variación de las concentraciones de ciertas sustancias que se hallaron en proporciones elevadas o distribuidas por toda la zona bajo estudio. En vista de que la información reunida en esta investigación pudieran usarla diversos organismos normativos, entre ellos, la Administración Nacional para los Océanos y la Atmósfera (NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration*), el Departamento de Ecología del Estado de Washington y la EPA, los análisis de los sedimentos y el agua de los poros se han comparado con varias pautas o niveles de referencia, basados en los efectos de cada sustancia contaminante, para facilitar la interpretación de los riesgos que esas concentraciones representan. Las pautas empleadas para esas comparaciones son las siguientes:

4.2.1.1 Pautas para la evaluación preliminar de los sedimentos

- Normas de gestión de sedimentos del Estado de Washington (SMS, *Sediment Management Standards*): Normas de calidad de los sedimentos (SQS, *Sediment Quality Standards*) y Niveles que exigen las operaciones de limpieza de los contaminantes (CSL, *Cleanup Screening Levels*). Los SQS representan objetivos de limpieza a largo plazo y corresponden a unos sedimentos de una calidad tal que no tenga efectos perjudiciales sobre las poblaciones biológicas. Los CSL representan normas menos severas y corresponden a unos sedimentos de una calidad tal que tenga efectos perjudiciales menores sobre las poblaciones biológicas. Se usan, por lo general, para averiguar si es necesario tomar medidas correctivas (operaciones de limpieza) en una zona específica.
- En las SMS están incluidos unos criterios, normalizados con respecto al carbono orgánico total (COT), acerca del contenido de compuestos orgánicos covalentes (es decir, no iónicos o no polares). Estos criterios sólo suelen ser útiles para predecir el efecto adverso en los sedimentos cuyo contenido de COT sea mayor del 0,5% (Michelsen, 1997). En los casos de COT muy elevado (mayor del 3 ó 4%), que suelen ser señal de que la actividad humana ha contribuido a la contaminación (por ejemplo, si hay presencia de petróleo, aceites o detritos de madera), puede no ser conveniente efectuar la normalización al contenido de carbono orgánico total. En los casos en que el COT excede del 4%, las concentraciones de compuestos orgánicos covalentes en estas muestras se han comparado con los valores que figuran en los Umbrales de Efectos Aparentes (*Apparent Effects Threshold*, AET; Barrick, 1998). Estos valores son los equivalentes funcionales de los de las SQS y los CSL, sólo que expresados en términos del peso en seco. El AET más bajo se ha considerado equivalente del valor de las SQS y el AET superior siguiente, equivalente del valor de los CSL.

4.2.1.2 Pautas para la evaluación de los contaminantes en el agua de los poros

- Valores marinos federales, crónicos y agudos, de los Criterios de la Calidad del Agua Ambiente (*Ambient Water Quality Criteria*, AWQC). Como estipula la Ley sobre el Agua Limpia, se han publicado los criterios sobre la calidad del agua ambiente con el fin de proteger los organismos acuáticos y la salud humana (véase la Sección 131 del Título 40, Código de los Reglamentos Federales [*40 CFR 131*]). Por valores agudos se entiende los que no deben excederse para las exposiciones breves; por valores crónicos, los que no deben excederse para las exposiciones prolongadas. Si bien estas normas no son de ley, se espera que los estados y las tribus las adopten como normas o elaboren otros criterios que ofrezcan el mismo grado de protección.
- Valores marinos del Estado de Washington, crónicos y agudos, de los Criterios de la Calidad del Agua Ambiente (WWAC 173-201A). El Estado de Washington ha fijado por ley unas normas de calidad del agua que, por lo general, se ajustan a las normas federales en esa materia.

Valores propuestos de la EPA, crónicos y agudos, para la concentración del tributilestaño (EPA 1997). Estas normas prevén la protección de la mayoría de los peces e invertebrados pero no la de las especies o los estadios vitales más sensibles.

4.2.2 Otras evaluaciones de los datos relativos al tributilestaño

No hay normas para la evaluación del tributilestaño en el sedimento. Sin embargo, se han propuesto algunas pautas para su evaluación en varios programas de gestión de los sedimentos del estrecho de Puget. Estas pautas se fundan en la teoría de la partición, y calculan una concentración umbral en el sedimento, por relación a la concentración en el agua que causa efectos nocivos en el ambiente. Para calcular la concentración de tributilestaño (TBE) en el sedimento se usa la fórmula siguiente:

$$[\text{TBE}]_{\text{sed, co}} = [\text{TBE}]_{\text{agua p}} * K_{\text{co}}$$

en la cual:

$[\text{TBE}]_{\text{agua p}}$ = Concentración del tributilestaño en el agua de los poros, en $\mu\text{g/L}$;

$[\text{TBE}]_{\text{sed, co}}$ = Concentración del tributilestaño en el sedimento, en $\mu\text{g/kg}$ de carbono orgánico;

K_{co} = Coeficiente de partición del carbono orgánico (L/kg).

Para este estudio, se ha utilizado como pauta (umbral de efectos nocivos) para el agua de los poros la concentración de $0,15 \mu\text{g}$ de tributilestaño por litro, fijada para el programa del PSDDA (Análisis previo a la eliminación de material dragado en el estrecho de Puget, *Puget Sound Dredged Disposal Analysis*). Se calculó que la concentración para el nivel inferior de toxicidad de los sedimentos sería de $3765 \mu\text{g/kg}$ de carbono orgánico, presumiendo un coeficiente de partición K_{co} igual a 25.100 (Meador, 1997). Para el cálculo del nivel superior de toxicidad de los sedimentos se supuso el criterio agudo marino de calidad del agua, lo que dio una concentración de $9287 \mu\text{g/kg}$ de carbono orgánico. Para calcular los equivalentes en peso en seco de estas concentraciones de evaluación preliminar, se supuso una concentración de carbono orgánico total del 1%.

4.3 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

4.3.1 Sedimentos superficiales

4.3.1.1 Bifenilos policlorados

Se buscaron los bifenilos policlorados en las muestras de todas las estaciones de recogida de sedimentos superficiales, y se hallaron en el 91%. Las concentraciones totales de estos bifenilos

^x El detalle de estas comparaciones se encuentra sólo en el volumen 2 de la versión en inglés de este informe; no se consideran en la sección de los resultados de los análisis.

oscilaron entre 20 y 12.000⁰ µg/kg de peso en seco; el promedio fue de 344 µg/kg. La concentración más elevada se presentó en el punto C de la estación DR207. Los compuestos aromático policlorados que se advirtieron fueron solamente los arocloros 1254, 1260 y 1242 (bifenilos cuyo contenido de cloro es del 54%, 60% y 42%, respectivamente). El arocloro 1254 se observó en el 89% de las estaciones, en concentraciones que oscilaron entre 20 y 9400 µg/kg, peso en seco. El arocloro 1260 también se halló con frecuencia (en el 85% de las estaciones de muestreo superficial). Las mayores concentraciones de los arocloros 1254 y 1260 se observaron en las estaciones DR271 y DR207, respectivamente. El arocloro 1242 se observó sólo en el 13% de las estaciones.

4.3.1.2 *Compuestos orgánicos semivolátiles (extraíbles por sustancias ácidas, neutras o alcalinas)*

En los análisis se buscaron y encontraron compuestos orgánicos semivolátiles (extraíbles por sustancias ácidas, neutras o alcalinas) en todas las estaciones de recogida de sedimentos superficiales. Los más corrientes entre ellos fueron los compuestos aromáticos policíclicos (PAH). Los PAH de alto peso molecular se hallaron en el 98% de las muestras reunidas. Las concentraciones totales de estos PAH oscilaron entre 20 y 50.840 µg/kg; el promedio fue de 4356 µg/kg de peso en seco. La mayor concentración de compuestos aromáticos policíclicos de alto peso molecular se observó en el punto A de la estación DR044. En todo el canal se hallaron también ciertas concentraciones de fluoranteno, criseno e indeno(1,2,3-cd)pireno.

Se encontraron compuestos aromáticos policíclicos (PAH) de bajo peso molecular y fenantreno en el 97% de las estaciones donde se recogieron muestras de sedimentos superficiales, en concentraciones que oscilaron entre 30 y 20.030 µg/kg para los PAH de bajo peso molecular, con un promedio de 791 µg/kg de peso en seco, y para el fenantreno, entre 30 y 16.000 µg/kg, con un promedio de 514 µg/kg de peso en seco. La mayor concentración de estas sustancias se presentó en el punto C de la estación DR175. En el Canal Navegable del Duwamish también se observó la presencia de acenafteno, fluoreno, fenol y hexaclorobenceno.

Los ésteres bis(2-etilhexílico) y butilbencílico del ácido ftálico se hallaron en el 74 y 64% de las estaciones de muestreo superficial, respectivamente. Las concentraciones del éster bis(2-etilhexílico) oscilaron entre 20 y 11.000 µg/kg de peso en seco, con un promedio de 568 µg/kg; las concentraciones del éster butilbencílico oscilaron entre 20 y 940 µg/kg de peso en seco, con un promedio de 47 µg/kg. La mayor concentración de estas dos sustancias se presentó en la estación DR008.

⁺ En esta versión, y conforme a la costumbre más extendida en español, las unidades de millares se separan por medio de puntos (doce mil = 12.000), mientras que los decimales se indican por medio de comas (siete décimas

[∇] El lector habrá de consultar la versión en inglés de este documento si desea conocer los resultados analíticos para cada contaminante o examinar los mapas que describen la distribución de éstos en la zona bajo estudio del río Duwamish.

4.3.1.3 Sustancias inorgánicas

Según los análisis, se encontraron sustancias inorgánicas en todas las estaciones de toma de muestras superficiales; el mercurio se halló en el 96% de las muestras recogidas, a una concentración media de 0,18 mg/kg, que osciló entre 0,02 y 1,6 mg/kg. La mayor concentración de mercurio se observó en la muestra tomada en el punto B de la estación DR157. El arsénico y el zinc se hallaron en todas las estaciones de muestreo de superficie. Las mayores concentración de los dos se observaron en el punto A de la estación DR0020. La mayor concentración de plomo se observó en la muestra D de la estación DR254.

4.3.1.4 Plaguicidas

Se hicieron análisis en busca de plaguicidas en las muestras de 47 de las estaciones de muestreo superficial. No se encontraron con frecuencia, a excepción del 4,4'-DDT (4,4'-dicloro-difenil-tricloroetano) y sus metabolitos, el 4-4'-DDD y 4,4'-DDE. El 4,4'-DDT se encontró aproximadamente en el 11% de las muestras en las que se buscó; la concentración media fue de 42 µg/kg, con una oscilación de 2 a 1670 µg/kg de peso en seco. La mayor concentración de DDT y sus metabolitos se descubrió en el punto C de la estación DR178.

4.3.1.5 Dioxinas y furanos

Se hicieron análisis en busca de dioxinas y furanos en las muestras de 30 de las estaciones de muestreo superficial, con resultados positivos en casi todos los casos. Para este estudio, el equivalente total en 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (2,3,7,8-TCDD) se empleó para medir la toxicidad relativa de los varios congéneres hallados. Ese total, en términos de la 2,3,7,8-TCDD, osciló entre por debajo del nivel de detección por el método usado y 218 nanogramos por kilogramo, con un promedio de 16 ng/kg, peso en seco. La mayor concentración se observó en el punto B de la estación DR123.

4.3.1.6 Compuestos orgánicos del estaño

Se hicieron análisis en busca de compuestos orgánicos del estaño (expresados en forma iónica) en 92 de las estaciones de muestreo de los sedimentos superficiales. El más común entre ellos fue el ion de tri-n-butil estaño (TBE), que se halló en el 92% de los sedimentos en los que se buscó. La concentración de TBE osciló entre 1 y 320 µg/kg, con un promedio de 70 µg/kg de peso en seco. La mayor concentración se observó en la estación DR002.

4.3.1.7 Compuestos orgánicos volátiles

Los compuestos orgánicos volátiles se buscaron en 47 de las estaciones de muestreo de superficie, pero se advirtieron en pocas de ellas, a excepción de la 2-butanona, que se halló en el 26% de las estaciones donde se buscó. Sus concentraciones oscilaron entre 5 y 35 µg/kg, con un promedio de 30 µg/kg de peso en seco. La mayor concentración se observó en la estación DR154.

4.3.1.8 *Carbono orgánico total*

Se efectuaron análisis del carbono orgánico total (COT) para las muestras de todas las estaciones de superficie. La concentración media del COT fue del 2,2%, con una oscilación del 0,1 al 9,2%; la concentración más alta se midió en la estación DR042.

4.3.1.9 *Tamaño de las partículas*

El análisis del tamaño de las partículas (gránulos) se efectuó para todas las estaciones de muestreo de superficie. Los sedimentos se consideraron gruesos si la fracción de partículas finas era inferior al 55% del total, y se consideraron finos si dicha fracción excedía del 55%. En la mayoría de las estaciones donde se tomaron muestras, los sedimentos eran finos. La composición media de todas las estaciones dio un 65% de partículas finas y un 33% de arena. La proporción de finos osciló entre el 1 y el 97%; la de arena, entre el 1 y el 99%. Las mayores proporciones de finos se dieron en la estación DR244, y las de arena, en la estación DR297.

4.3.2 **Sedimentos bajo la superficie**

4.3.2.1 *Bifenilos policlorados*

Las muestras de todas las estaciones de recogida de sedimentos bajo la superficie se analizaron en busca de bifenilos policlorados, que se hallaron en el 76% de los casos. Las concentraciones totales de estos bifenilos oscilaron entre 37 y 4043 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso en seco; el promedio fue de 583 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La concentración más elevada se presentó en el punto A (intervalo de 2 a 4 pies [= 60 a 120 cm]) de la estación DR021. Los compuestos aromáticos policlorados que se advirtieron fueron solamente los arocloros 1254, 1260 y 1242 (bifenilos cuyo contenido de cloro es del 54%, 60% y 42%, respectivamente). El arocloro 1254 fue el más extendido: se observó en el 76% de las estaciones, en concentraciones que oscilaron entre 37 y 2200 $\mu\text{g}/\text{kg}$; la mayor concentración se encontró en el punto A (intervalo de 0 a 2 pies [= 0 a 60 cm]) de la estación DR068. El arocloro 1260 también se halló con frecuencia (en el 73% de las estaciones de muestreo profundo), en concentraciones que oscilaron entre 22 y 678 $\mu\text{g}/\text{kg}$, peso en seco; la concentración máxima de este arocloro se observó en el punto C del nivel menos profundo de la estación DR206. El arocloro 1242 se observó en el 58% de las muestras en que se buscó.

4.3.2.2 *Compuestos orgánicos semivolátiles (extraíbles por sustancias ácidas, neutras o alcalinas)*

Se buscaron compuestos orgánicos semivolátiles (eso es, extraíbles por sustancias ácidas, neutras o alcalinas) en todas las estaciones de recogida de sedimentos bajo la superficie, y se encontraron con frecuencia. Como en el caso de las muestras de superficie, los más corrientes entre ellos fueron los compuestos aromáticos policíclicos (PAH). En cada muestra analizada se encontraron PAH de alto y bajo peso molecular. Las concentraciones totales de PAH de alto peso molecular oscilaron entre 80 y 15.080 $\mu\text{g}/\text{kg}$; el promedio fue de 3095 $\mu\text{g}/\text{kg}$, peso en seco. La mayor concentración de PAH de alto peso molecular se observó en el intervalo de 2 a 4 pies (60 a 120 cm) de la estación DR0544. En ese intervalo de la misma estación se hallaron ciertas concentraciones de fluoranteno, criseno e indeno(1,2,3-cd)pireno.

Se encontraron compuestos aromáticos policíclicos (PAH) de bajo peso molecular y fenantreno en todas las estaciones donde se recogieron muestras de sedimentos bajo la superficie, en concentraciones que oscilaron entre 20 y 2310 $\mu\text{g}/\text{kg}$ para los PAH de bajo peso molecular, con un promedio de 411 $\mu\text{g}/\text{kg}$, peso en seco, y para el fenantreno, entre 20 y 1500 $\mu\text{g}/\text{kg}$, con un promedio de 252 $\mu\text{g}/\text{kg}$, peso en seco. La mayor concentración de estas sustancias se midió en el intervalo de 2 a 4 pies (60 a 120 cm) del punto A, estación DR054. En el Canal Navegable también se observó la presencia de acenafteno, fluoreno, fenol y hexaclorobenceno.

Los ftalatos se hallaron con frecuencia. Los ésteres bis(2-etilhexílico) y butilbencílico del ácido ftálico se hallaron en el 88 y 61% de las estaciones de muestreo bajo la superficie, respectivamente. Las concentraciones del éster bis(2-etilhexílico) oscilaron entre 30 y 6900 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso en seco, con un promedio de 741 $\mu\text{g}/\text{kg}$; la mayor concentración se midió en el intervalo menos profundo (hasta 60 cm) de la estación DR008. Las concentraciones del éster butilbencílico oscilaron entre 20 y 670 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso en seco, con un promedio de 70 $\mu\text{g}/\text{kg}$. La mayor concentración del ftalato butilbencílico se observó en el intervalo de 60 a 120 cm de profundidad de la estación DR008.

4.3.2.3 *Sustancias inorgánicas*

Se hicieron análisis en busca de sustancias inorgánicas en todas las estaciones de toma de muestras profundas; el mercurio se halló en todas las muestras recogidas, a una concentración media de 0,30 mg/kg, que osciló entre 0,06 y 1,44 mg/kg. La mayor concentración de mercurio se observó en la muestra tomada en el intervalo de 2 a 4 pies (60 a 120 cm), punto A de la estación DR054. Las mayores concentraciones de arsénico, plomo y zinc se observaron también en la estación DR054.

4.3.2.4 *Plaguicidas*

Se hicieron análisis en busca de plaguicidas en las muestras de 8 de las estaciones de muestreo bajo la superficie. No se encontraron con frecuencia, a excepción del 4,4'-DDD y 4,4'-DDE. El 4,4'-DDD se encontró en el 44% de las muestras en las que se buscó; la concentración osciló entre 2 y 14 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso en seco. La mayor concentración se halló en el intervalo de 2 a 4 pies (60 a 120 cm) de profundidad de la estación DR008. El 4,4'-DDE se encontró en el 63% de las muestras; la concentración osciló entre 1 y 18 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso en seco. La mayor concentración se halló en el intervalo de 2 a 4 pies (60 a 120 cm) de profundidad de la estación DR021.

4.3.2.5 *Compuestos orgánicos del estaño*

Se hicieron análisis en busca de compuestos orgánicos del estaño (expresados en forma iónica) en 13 de las estaciones de muestreo de los sedimentos bajo la superficie. El compuesto más común entre ellos fue el ion de tri-n-butil estaño (TBE), que se halló en el 80% de las muestras en las que se buscó. La concentración de TBE osciló entre 3 y 2500 $\mu\text{g}/\text{kg}$, con un promedio de 235 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso en seco. La mayor concentración se halló en el nivel más alto de la estación DR054.

4.3.2.6 Carbono orgánico total

Se analizó el carbono orgánico total (COT) de los sedimentos bajo la superficie de todas las estaciones de muestreo. La concentración del COT osciló entre el 0,8 y el 3,6%, con un promedio del 2,2%; la mayor concentración se midió en la estación DR008.

4.3.2.7 Tamaño de las partículas

Los análisis del tamaño de las partículas (gránulos) se efectuaron para todas las estaciones de muestreo de los sedimentos bajo la superficie. Los sedimentos analizados tenían, en promedio, un 76% de finos y un 23% de arena. La proporción de finos osciló entre el 30 y el 94%; la mayor proporción se presentó en el intervalo de 2 a 4 pies (60 a 120 cm) de la estación DR044. La oscilación en la proporción de arena fue del 6 al 69%; el valor máximo se halló en el mismo nivel de la estación DR269.

4.3.3 Agua de los poros de los sedimentos

4.3.3.1 Sustancias inorgánicas

Según los análisis, se encontraron sustancias inorgánicas en todas las estaciones de toma de muestras del agua de los poros de los sedimentos superficiales. Se observó la presencia de arsénico en el 80% de las estaciones. La concentración del arsénico osciló entre 26 y 114 $\mu\text{g/L}$, con un promedio de 53 $\mu\text{g/L}$. La mayor concentración se midió en la estación DR244.

4.3.3.2 Compuestos orgánicos del estaño

Se hicieron análisis en busca de compuestos orgánicos del estaño (expresados en forma iónica) en el agua de los poros de los sedimentos superficiales en todas las estaciones de muestreo de esos sedimentos. El compuesto más comúnmente observado entre ellos fue el tri-n-butil estaño (TBE), que se halló en el 53% de los sedimentos en que se buscó. La concentración de TBE osciló entre por debajo del límite de detección y 0,08 $\mu\text{g/L}$. La mayor concentración se halló en la estación DR055.

SECCIÓN 1

BIBLIOGRAFÍA

Barrick, R., S. Becker, L. Brown, H. Heller y R. Pastorak, 1988. "Sediment quality values refinement: 1988 update and evaluation of Puget Sound AET" (*mayores precisiones sobre la calidad de los sedimentos de Puget Sound*). Informe preparado para la Oficina del Programa del Estuario de Puget Sound (*Office of Puget Sound Estuary Program*), EPA, Región 10, Seattle, WA. PTI Environmental Services, Bellevue, WA.

Dragovich, J.D., P.T. Pringel y T.J. Walsh, 1994. "Extent and geometry of the mid-Holocene Osceola mudflow in the Puget lowland: Implications for Holocene sedimentation and paleogeography" (*extensión y geometría de la corriente de lodo de Osceola durante el Holoceno medio en la llanura de Puget*). *Washington Geology*, vol. 22, N° 3.

Eaton, C., 1998. Contratista investigador. Comunicación personal enviada a D. Hughes, de la Roy F. Weston, Inc., en Seattle, WA.

Galster, R.W. y W.T. Laprade, 1991. "Geology of Seattle, Washington, United States of America." *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, vol. XXVIII, N° 3, agosto de 1991.

Meador, J.P., C.A. Krone, D.W. Dyer y V. Varanasi, 1997. "Toxicity of sediment-associated tributyltin to infaunal invertebrates; species comparison and role of organic carbon" (*toxicidad de los sedimentos contaminados por tributilestaño para los invertebrados de la endofauna; comparación entre especies y función del carbono orgánico*). *Marine Environmental Research*, vol. 43, N° 3, pp. 219-41.

Michelsen, T., 1997. Comunicación personal enviada del Departamento de Ecología del Estado de Washington, Bellevue, Washington, enviada a N. Musgrove, de la Roy F. Weston, Inc., en Seattle, WA.

Tanner, C.D., 1991. "Potential intertidal habitat restoration sites in the Duwamish River estuary" (*posible restauración de ciertos hábitats intermareales en el estuario del río Duwamish*). Informe preparado para el Departamento de Ingeniería de la Autoridad Portuaria de Seattle (*Port of Seattle Engineering Department*) y la EPA, Seattle, WA. Diciembre de 1991.

U.S. EPA (Agencia de los Estados Unidos para la Protección del Medio Ambiente), 1997, "Draft ambient water quality criteria for tributyltin" (*criterios provisionales de la calidad del agua con respecto al tributilestaño*).

U.S. EPA, 1995. "Interim draft water quality criteria summary concentrations" (*criterios provisionales de la calidad del agua*).

Weston (Roy F. Weston, Inc.), 1998a. "Sampling and Analysis Plan (*plan de muestreo y análisis*), Duwamish River Site Inspection, Seattle, WA. Informe preparado para la EPA, Región 10. Julio, 1998.

Weston, 1998b. “Pacific [sic – ¿Puget?] Sound Resources, Marine Sediments Unit Remedial Investigation Report” (*recursos del estrecho de Puget: limpieza de los sedimentos marinos*), Appendix K. Informe preparado para la EPA, Región 10. Abril, 1998.

Weston, 1994b. “Harbor Island Remedial Investigation Report (part 2, sediment)” (*limpieza de los sedimentos de la isla de Harbor*) Informe preparado para la EPA, Región 10.